

Dämpfung von Schwingungen einer Brennkammer durch Resonatoren

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Einrichtung zum Dämpfen von
5 Schwingungen einer Brennkammer, wobei mindestens ein Resonator
schwingungstechnisch mit der Brennkammer verbunden ist.

Solche Einrichtungen sind grundsätzlich aus dem Stand der Technik bekannt.
Sowohl DE 34 32 607 A1 als auch US 5,353,598 A beschreiben Einrichtungen
10 zum Dämpfen von Schwingungen einer Brennkammer, wobei mindestens ein
Resonator bzw. eine Dämpfungskammer unmittelbar oder über Durchtrittskanäle
Resonanzwirkung mit der Brennkammer eines Raketentriebwerkes verbunden ist.

Nachteilig an den Einrichtungen nach US 5,353,598 A ist jedoch, dass die
15 Resonatoren direkt mit der Brennkammer des Raketentriebwerkes verbunden
sind. Damit kann es zu einer Überhitzung der Resonatoren aufgrund von
eintretenden heißen Verbrennungsgasen aus dem Brennkammerraum kommen.
Die Folge ist, dass die Resonatoren ihre Resonanzwirkung verlieren und
entsprechend nicht mehr zur Dämpfung von Schwingungen der Brennkammer
20 beitragen können.

Bei der DE 34 32 607 A1 sind Dämpfungskammern im Bereich des
Einspritzkopfes in einem Treibstoffverteilerraum angeordnet und über
Durchtrittskanäle mit der Brennkammer schwingungstechnisch verbunden. Durch
25 die Anordnung im Treibstoffverteilerraum, der beispielsweise zur Verteilung von
Wasserstoff dient, wird zwar eine Aktivkühlung der Dämpfungskammern
gewährleistet. Hierzu sind aber relativ aufwändige konstruktive Maßnahmen
notwendig. Es kann trotzdem nicht ausgeschlossen werden, dass heiße
30 Brennkammer-Verbrennungsgase über die Durchtrittskanäle unmittelbar in die
Dämpfungskammern eindringen und zu einer Beeinträchtigung oder gar
Zerstörung der Dämpfungskammern führen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist daher die Bereitstellung einer verbesserten Möglichkeit zum Dämpfen von Schwingungen einer Brennkammer mit Hilfe von Resonatoren.

- 5 Gegenstand der Erfindung ist eine Einrichtung zum Dämpfen von Schwingungen einer Brennkammer, wobei mindestens ein Resonator schwingungstechnisch mit der Brennkammer verbunden ist. Gemäß der Erfindung ist vorgesehen, dass der mindestens eine Resonator mit einer Vorkammer schwingungstechnisch verbunden ist und die Vorkammer über mindestens einen Durchtrittskanal mit der
10 Brennkammer schwingungstechnisch verbunden ist. Damit wird erreicht, dass der oder die Resonatoren, die zur Dämpfung der Schwingungen verwendet werden, nicht mehr unmittelbar mit der Brennkammer, bzw. mit dem Innenraum der Brennkammer, in Verbindung stehen. Vielmehr besteht nur eine mittelbare Verbindung über die zwischengeschaltete Vorkammer. Damit können die
15 Resonatoren in Bereichen angeordnet werden, die einer geringeren Temperaturbelastung bzw. geringeren Temperaturänderungen unterworfen sind. Trotzdem können die Schwingungen der Brennkammer über den Durchtrittskanal und die Vorkammer bis zu den Resonatoren gelangen und damit die Schwingungen der Brennkammer effektiv gedämpft werden.

20

- Eine erste Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Brennkammer an einen Einspritzkopf mit mindestens einem Einspritzelement angrenzt, der zum Einleiten einer Treibstoffströmung in die Brennkammer ausgebildet ist, und die Vorkammer strömungstechnisch vor dem mindestens einen Einspritzelement angeordnet ist.
25 Es kann dabei ein einziger Treibstoffstrom vorgesehen sein, der der Brennkammer zugeführt wird. Es können auch zwei oder mehrere Treibstoffströme vorgesehen sein, die durch die Einspritzelemente der Brennkammer zugeführt werden und ggf. bereits in oder unmittelbar nach den Einspritzelementen vermischt werden. Die Vorkammer ist bei dieser Alternative in einem Bereich angeordnet, den
30 mindestens einer der Treibstoffströme passiert, bevor er das oder die Einspritzelemente durchströmt. Damit liegen also die Einspritzelemente zwischen der Brennkammer bzw. dem Innenraum der Brennkammer und der Vorkammer.

Alternativ dazu kann aber auch vorgesehen werden, dass die Brennkammer an einen Einspritzkopf mit mindestens einem Einspritzelement angrenzt, der zum Einleiten einer Treibstoffströmung in die Brennkammer ausgebildet ist, und die

5 Vorkammer strömungstechnisch im Bereich des mindestens einen Einspritzelements angeordnet ist. Damit liegt die Vorkammer in einem Bereich, den mindestens einer der Treibstoffströme passiert, während er das oder die Einspritzelemente durchströmt. Damit sind also die Einspritzelemente und die Vorkammer strömungstechnisch nebeneinander vor der Brennkammer bzw. dem

10 Innenraum der Brennkammer angeordnet.

In beiden Fällen kann mindestens einer der Treibstoffströme dazu dienen, durch eine Aktivkühlung der Resonatoren die Temperatur der Resonatoren weitgehend konstant zu halten. Hierfür kann insbesondere die Vorkammer

15 strömungstechnisch mit einer Treibstoffströmung in Verbindung stehen, bevor diese den Innenraum der Brennkammer erreicht. Die Treibstoffströmung wird dabei nicht lediglich um einen Resonator herumgeleitet wie beispielsweise im Fall der DE 34 32 607 A1, sondern sie erreicht den Innenraum des Resonators, so dass das Resonanzvolumen des Resonators selbst weitgehend konstant auf der

20 Temperatur der Treibstoffströmung gehalten werden kann. Idealerweise steht der Resonator wie auch die Vorkammer mit einer gasförmigen Treibstoffströmung in Verbindung, da dann über die Treibstoffströmung eine besonders gute schwingungstechnische Verbindung zwischen Resonator und Brennkammer gewährleistet werden kann.

25

Bevorzugt wird vorgesehen, dass der Durchtrittskanal als Teil eines Einspritzelements ausgebildet ist. Es können grundsätzlich aber auch separate Durchtrittskanäle vorgesehen sein, die eine schwingungstechnische Verbindung zwischen dem Innenraum der Brennkammer und der Vorkammer garantieren.

30

Die Resonatoren können beispielsweise als Helmholtz-Resonatoren oder als $\lambda/4$ -Resonatoren ausgebildet sein. Solche Resonatoren sind grundsätzlich aus dem Stand der Technik hinreichend bekannt.

- 5 Ein spezielles Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird nachfolgend anhand der Figuren 1 bis 4 am Beispiel eines Raketentriebwerkes erläutert. Es zeigen:

Fig. 1: Raketentriebwerk mit Helmholtz-Resonator vor dem Einspritzkopf
10 Fig. 2: Raketentriebwerk mit $\lambda/4$ -Resonatoren in einer Einspritzkopf-Deckplatte

Fig. 3: Raketentriebwerk mit zweireihigen $\lambda/4$ -Resonatoren vor dem Einspritzkopf

Fig. 4: Raketentriebwerk mit $\lambda/4$ -Resonatoren im Einspritzkopf

15 Bei der Verbrennung von Treibstoffen in Raketenbrennkammern kommt es häufig während des Betriebes zur Ausbildung von unterschiedlichen hochfrequenten Schwingungen. Aufgrund der hohen thermischen und mechanischen Belastung führen derartige Schwingungen zu Schäden oder sogar zur Zerstörung der Raketentriebwerke, wenn diese nicht rechtzeitig gedämpft werden.

20

Eine Methode zur Dämpfung solcher Schwingungen ist die aus dem eingangs zitierten Stand der Technik bekannte Verwendung von akustischen Resonatoren. Hierbei unterscheidet man zwischen Helmholtz - Resonatoren und $\lambda/4$ -Resonatoren. Beide Resonatoren-Typen bestehen aus kleinen Volumen, welche 25 bei den Einrichtungen nach dem Stand der Technik direkt mit der Kammer verbunden sind. In diesen Resonatoren findet eine Dissipation der Schwingungsenergie statt, wenn die angeregte Frequenz der Kammer mit der Eigenfrequenz des Resonators übereinstimmt. Resonatoren sind schmalbandige Absorber und müssen aus diesem Grunde auf die zu dämpfende Frequenz abgestimmt werden. Helmholtz-Resonatoren dienen der Dämpfung in einem weiteren Frequenzbereich im Vergleich zu den $\lambda/4$ -Resonatoren, welche auf eine diskrete Frequenz abgestimmt werden müssen. In beiden Fällen liegt neben der 30

Abhängigkeit von den geometrischen Abmessungen eine starke Abhängigkeit von der Schallgeschwindigkeit und somit von der Temperatur vor. Somit besteht die Gefahr einer Verschiebung der Dämpfungs frequenz durch die Aufheizung des Gases in den Resonatoren. Außerdem ist die genaue Abstimmung besonders der effektiveren $\lambda/4$ -Resonatoren aufwendiger, da die Temperaturverhältnisse in den Resonatoren nur experimentell bestimmt werden können und somit eine Neuabstimmung in den meisten Fällen erforderlich ist. Außerdem sind derartige Systeme mit zusätzlichem konstruktivem Aufwand verbunden, aufgrund der ohnehin vorhandenen Kühlproblematik der Brennkammer in diesem Bereich. Axial von der Brennkammer nach oben, d.h. entgegen der Strömungsrichtung, angeordnete Resonatoren im Bereich des Einspritzkopfes bilden unerwünschte Rückströmzonen in diesem Bereich, wodurch ein zusätzlicher Wärme fluss in Richtung des Einspritzkopfes entsteht, was die Stabilität des Einspritzkopfes beeinflussen kann.

15

Die vorliegende Erfindung bietet eine Resonatorenanordnung welche von den heißen Verbrennungsgasen und damit der Temperatur in der Brennkammer unabhängig ist. Gleichzeitig wird eine negative Beeinflussung der Anordnung der Einspritzelemente und der Brennkammerkühlung vermieden. Die Erfindung ist insbesondere bei Hauptstrom-Triebwerken sowie anderen Triebwerken mit gasförmiger Einspritzung einer von zwei oder mehreren Treibstoffkomponenten anwendbar. Bei Hauptstrom-Triebwerken werden gasförmige Abgase einer Treibstoffturbine wieder einem Treibstoffstrom (Hauptstrom) zugeführt und zusammen mit dem Treibstoffstrom in die Brennkammer geleitet. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit stellen Expander-Cycle-Triebwerke dar, in denen der Antrieb der Treibstoffturbine mit einem gasförmigen Treibstoff wie Wasserstoff erfolgt. Zuvor wird der Treibstoff in flüssiger Form durch Kühlkanäle des Raketentriebwerkes geleitet und aufgrund der Wärmeaufnahme in gasförmigen Zustand überführt. Bei beiden Arten von Triebwerken liegen also gasförmige Treibstoffströme vor, die über Einspritzelemente in den Innenraum einer Brennkammer geleitet und dort verbrannt werden.

- Fig. 1 bis 3 zeigen Beispiele eines Hauptstrom-Raketentriebwerkes. Das Triebwerk weist jeweils eine Brennkammer 1 auf, die stromaufwärts durch eine Einspritzplatte 2 eines Einspritzkopfes 3 begrenzt wird. In diesem Einspritzkopf 3 sind Einspritzelemente 4 angeordnet, die dazu dienen, eine oder mehrere Treibstoffströmungen in den Innenraum 9 der Brennkammer 1 zu leiten. Der Einspritzkopf 3 wird stromaufwärts durch eine Deckplatte 6 begrenzt. Die Einspritzelemente 4 sind entweder rohrförmig ausgebildet, sie können aber auch durch eine Kombination von Rohren und einer oder mehreren koaxialen Hülsen gebildet werden. Die Einspritzelemente 4 bzw. die Rohre oder Hülsen sind mit der Einspritzplatte 2 und/oder der Deckplatte 6 verbunden. Der Hauptstrom eines gasförmigen Treibstoffes sowie Turbinenabgase (Gas) gelangen in eine Vorkammer 7 vor dem Einspritzkopf und werden dann durch die Einspritzelemente 4 in den Innenraum 9 der Brennkammer 1 geleitet.
- Fig. 4 zeigt dagegen ein Expander-Cycle-Triebwerk, bei dem ein gasförmiger Treibstoffstrom wie Wasserstoff (gH_2) in eine Vorkammer 17 geleitet wird und von dort über ringförmige Spalte 8 zwischen einem Rohr 28 und einer Hülse eines koaxialen Einspritzelements 4 in den Innenraum 9 der Brennkammer gelangt. Über eine weitere Kammer 27 und das Rohr 28 gelangt ein weiterer, beispielsweise flüssiger Treibstoffstrom wie flüssiger Sauerstoff in den Innenraum 9 der Brennkammer 1.

Hochfrequente Schwingungen, die in der Brennkammer 1 bei der Verbrennung des oder der Treibstoffe entstehen, pflanzen sich über Treibstoff-Gasströme, die durch die Einspritzelemente 4 strömen, stromaufwärts bis in eine Vorkammer 7, 17 fort. Daher kann eine Dämpfung der Schwingungen der Brennkammer 1 gemäß der Erfindung auch dadurch erfolgen, dass Resonatoren 5, 5a, 5b im Bereich der Vorkammern 7, 17 angeordnet werden, so dass sie strömungstechnisch mit der Vorkammer 7, 17 kommunizieren.

30

Fig. 1 zeigt eine Anordnung eines Helmholtz-Resonators 5 in der Wand der Vorkammer 7. Dabei kann der Helmholtz-Resonator 5 als ringförmig umlaufende

Kammer in der Wand der Vorkammer 7 ausgebildet sein, die über einen ringförmigen Durchtrittsspalt mit der Vorkammer 7 verbunden ist, wie in Fig. 1 dargestellt.

- 5 Fig. 2 zeigt eine alternative Ausführungsform, wobei $\lambda/4$ -Resonatoren 5 in Form von einseitig offenen Zylindern in der Deckplatte 6 des Einspritzkopfes 3 angeordnet sind. Wie in Fig. 2 dargestellt, können mehrere $\lambda/4$ -Resonatoren 5 gleichmäßig verteilt angeordnet sein. Im Fall der Fig. 2 sind die $\lambda/4$ -Resonatoren 5 ringförmig um die Mittelachse der Deckplatte 6 angeordnet.

10

- In Fig. 3 ist eine Anordnung von $\lambda/4$ -Resonatoren 5a, 5b in der Wand der Vorkammer 7 vorgesehen. Die $\lambda/4$ -Resonatoren 5a, 5b sind dabei als Bohrungen in der Wand der Vorkammer 7 ausgebildet. Auch diese $\lambda/4$ -Resonatoren 5a, 5b können gleichmäßig verteilt angeordnet sein. Im Fall der Fig. 3 sind die $\lambda/4$ -
15 Resonatoren 5a, 5b in zwei übereinander liegenden Ringen in der Wand der Vorkammer 7 angeordnet.

- Es können im Fall der Figuren 2 und 3 alle $\lambda/4$ -Resonatoren 5, 5a, 5b grundsätzlich identisch ausgebildet sein, um genau eine definierte
20 Schwingungsfrequenz zu dämpfen. Bevorzugt können aber die $\lambda/4$ -Resonatoren 5, 5a, 5b unterschiedlich ausgebildet sein, so dass jeweils eine Gruppe von $\lambda/4$ -Resonatoren 5, 5a, 5b an eine bestimmte Schwingungsfrequenz angepasst wird. Im Fall der Fig. 3 sind die unteren $\lambda/4$ -Resonatoren 5a als kürzere Bohrungen ausgebildet und damit an höhere Schwingungsfrequenzen angepasst als die
25 oberen $\lambda/4$ -Resonatoren 5b, die als längere Bohrungen ausgebildet sind.

- Bei der Verwendung einer derartigen Resonatoren-Anordnung erfolgt die Abstimmung auf die jeweilig zu dämpfende Frequenz, d.h. $f_{(Kammer)}=f_{(Resonator)}$. Die Bestimmung der geometrischen Abmessungen hat unter Berücksichtigung der
30 jeweiligen Temperaturverhältnisse des Gases im Bereich der Resonatoren zu erfolgen, da dieses einen direkten Einfluss auf die Schallgeschwindigkeit und somit auch auf die Frequenz hat.

Gleiches gilt grundsätzlich für das Ausführungsbeispiel nach Fig. 4. Hier sind $\lambda/4$ -Resonatoren 5 als Bohrungen in der Wand des Einspritzkopfes 3 in dem Bereich einer Vorkammer 7 vorgesehen, welche die Einspritzelemente 4 umschließt. Auch hier können also die $\lambda/4$ -Resonatoren 5 gleichförmig verteilt, beispielsweise ringförmig, in der Wand des Einspritzkopfes 3 angeordnet sein und es können auch hier mehrere Gruppen von $\lambda/4$ -Resonatoren 5 mit unterschiedlicher Anpassung an unterschiedliche Schwingungsfrequenzen vorliegen. Wie bereits beschrieben tritt gasförmiger Treibstoff wie gH₂ in die Vorkammer 7 ein und wird über Ringspalte 8 in den Innenraum 9 der Brennkammer 1 eingeleitet. Dieser Strömungsweg des gasförmigen Treibstoffes stellt eine schwingungstechnische Verbindung zwischen dem Innenraum 9 der Brennkammer 1 und der Vorkammer 7 dar, analog zu den obigen Ausführungen zu den Figuren 1 bis 3. Damit gelangen diese Schwingungen bis zu den $\lambda/4$ -Resonatoren 5 in der Wand der Vorkammer 7 und können dort durch die Resonatorwirkung der $\lambda/4$ -Resonatoren 5 effektiv gedämpft werden.

Der wesentliche Vorteil der Erfindung besteht in der weitgehend konstanten Temperatur des Gases in den Resonatoren 5, 5a, 5b während der gesamten Dauer des Betriebes des Triebwerkes. Weiterhin ergibt sich eine Vereinfachung der Konstruktion in dem Hochtemperaturbereich der Brennkammer 1, da im Bereich der Wand der Brennkammer 1 sowie in der Einspritzplatte außer der üblichen Kühlung keine weiteren Anordnungen wie Resonatoren mehr vorgesehen werden müssen. Außerdem ermöglicht die Bauweise nach der vorliegenden Erfindung die Unterbringung einer wesentlich höheren Anzahl von Resonatorebeispielsweisen, da die einzelnen Ausführungsbeispiele nach den Figuren 1 bis 3 auch kombiniert werden können, so dass Helmholtz-Resonatoren 5 und/oder $\lambda/4$ -Resonatoren 5a, 5b in der Wand der Vorkammer 7 und/oder $\lambda/4$ -Resonatoren 5 in der Deckplatte 6 vorgesehen werden können.

Patentansprüche

- 5 1. Einrichtung zum Dämpfen von Schwingungen einer Brennkammer (1), wobei
mindestens ein Resonator (5, 5a, 5b) schwingungstechnisch mit der
Brennkammer (1) verbunden ist,
dadurch gekennzeichnet,
dass der mindestens eine Resonator (5, 5a, 5b) mit einer Vorkammer (7, 17)
10 schwingungstechnisch verbunden ist und die Vorkammer (7) über
mindestens einen Durchtrittskanal (8, 18) mit der Brennkammer (1)
schwingungstechnisch verbunden ist.
- 15 2. Einrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Brennkammer (1) an einen Einspritzkopf (3) mit mindestens einem
Einspritzelement (4) angrenzt, der zum Einleiten einer Treibstoffströmung in
die Brennkammer (1) ausgebildet ist, und die Vorkammer (7, 17)
20 strömungstechnisch vor dem mindestens einen Einspritzelement (4)
angeordnet ist.
- 25 3. Einrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Brennkammer (1) an einen Einspritzkopf (3) mit mindestens einem
Einspritzelement (4) angrenzt, der zum Einleiten einer Treibstoffströmung in
die Brennkammer (1) ausgebildet ist, und die Vorkammer (7, 17)
angeordnet ist.

4. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Vorkammer (7, 17) strömungstechnisch mit einer Treibstoffströmung
5 in Verbindung steht.

5. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Durchtrittskanal (8, 18) als Teil eines Einspritzelements (4)
10 ausgebildet ist.

Zusammenfassung

- 5 Beschrieben wird eine Einrichtung zum Dämpfen von Schwingungen einer Brennkammer (1), wobei mindestens ein Resonator (5, 5a, 5b) schwingungstechnisch mit der Brennkammer (1) verbunden ist. Der Resonator (5, 5a, 5b) ist dabei mit einer Vorkammer (7, 17) schwingungstechnisch verbunden und die Vorkammer (7) über mindestens einen Durchtrittskanal (8, 18) mit der
10 Brennkammer (1) schwingungstechnisch verbunden.

(Fig. 1)

1/4

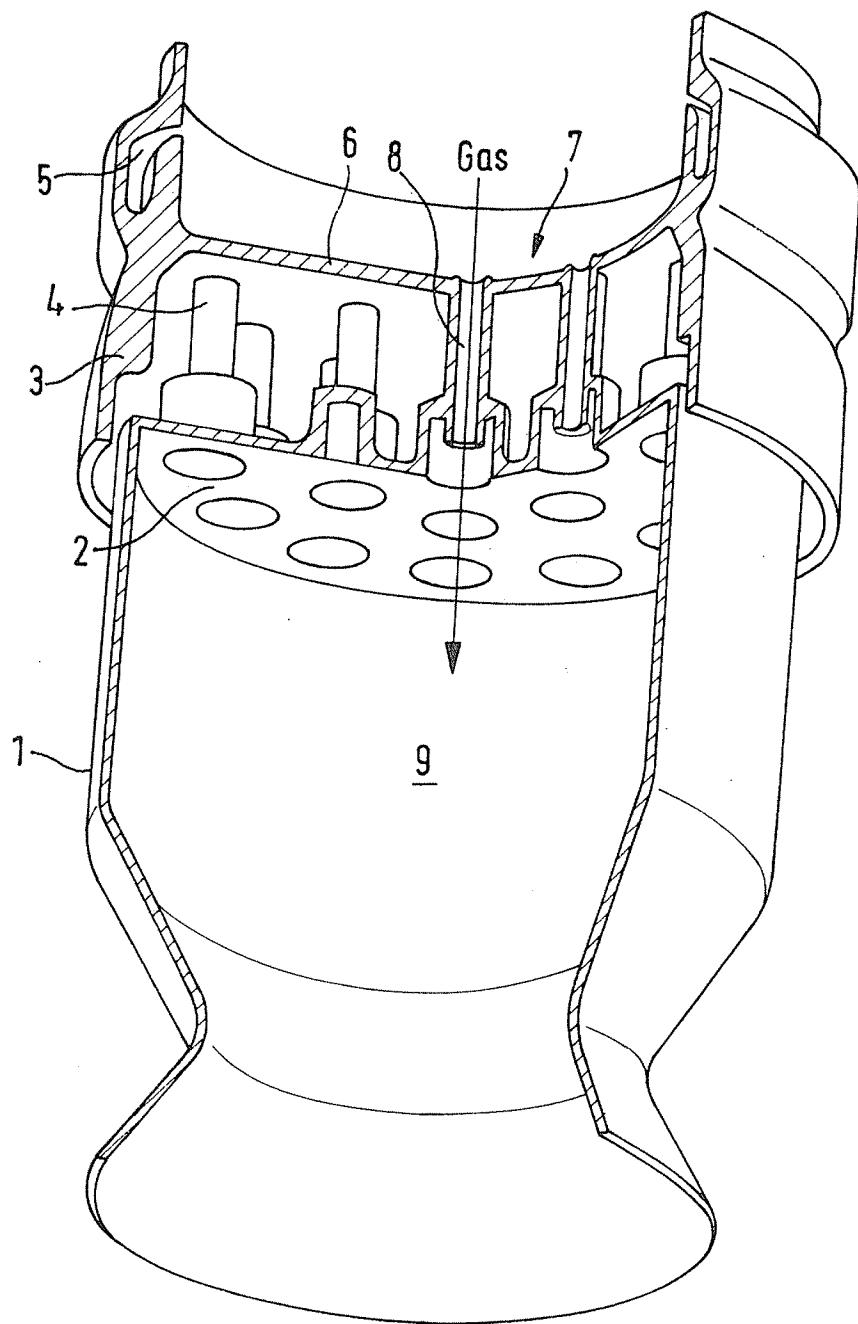


FIG.1

2/4

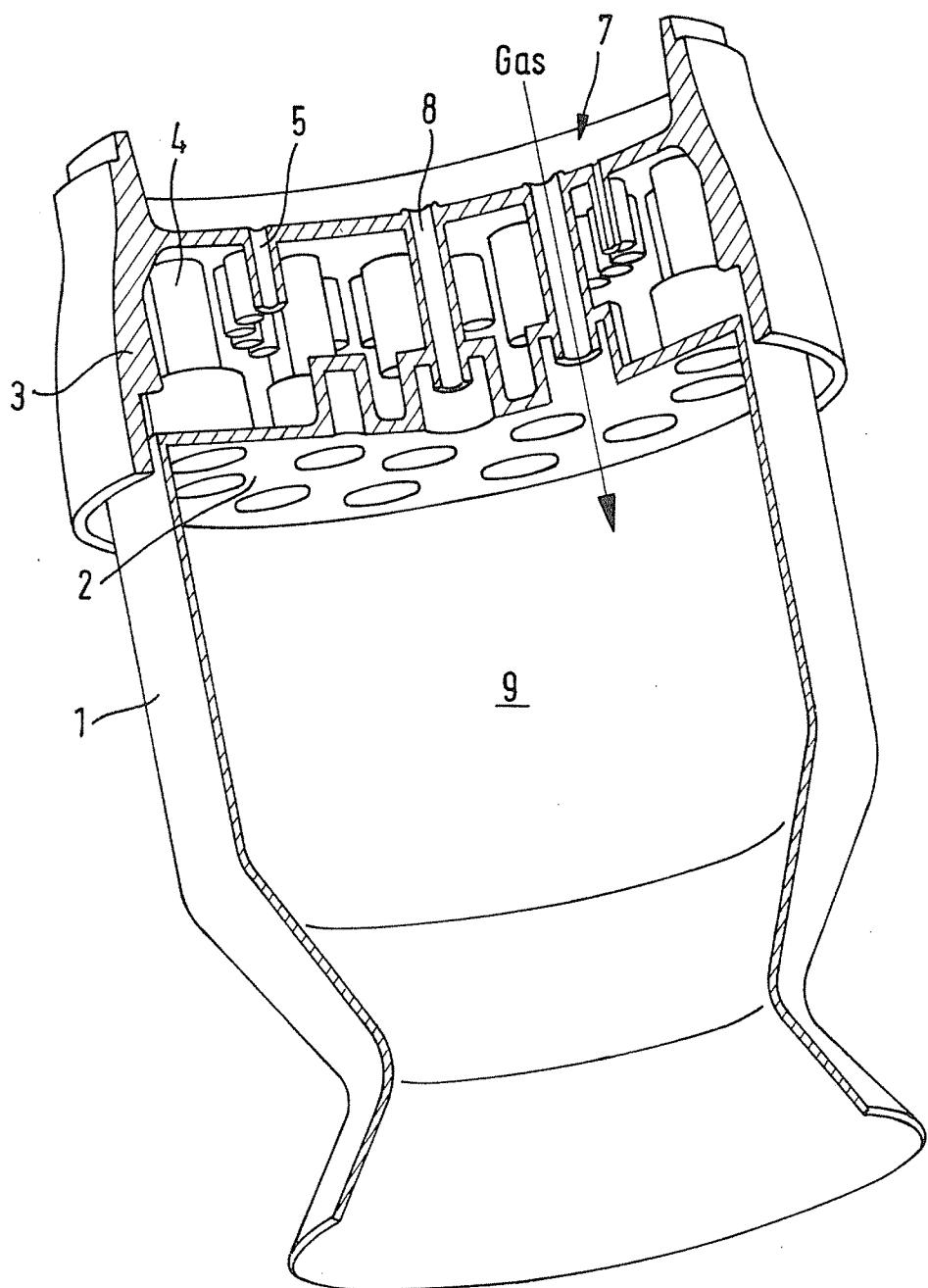


FIG.2

3/4

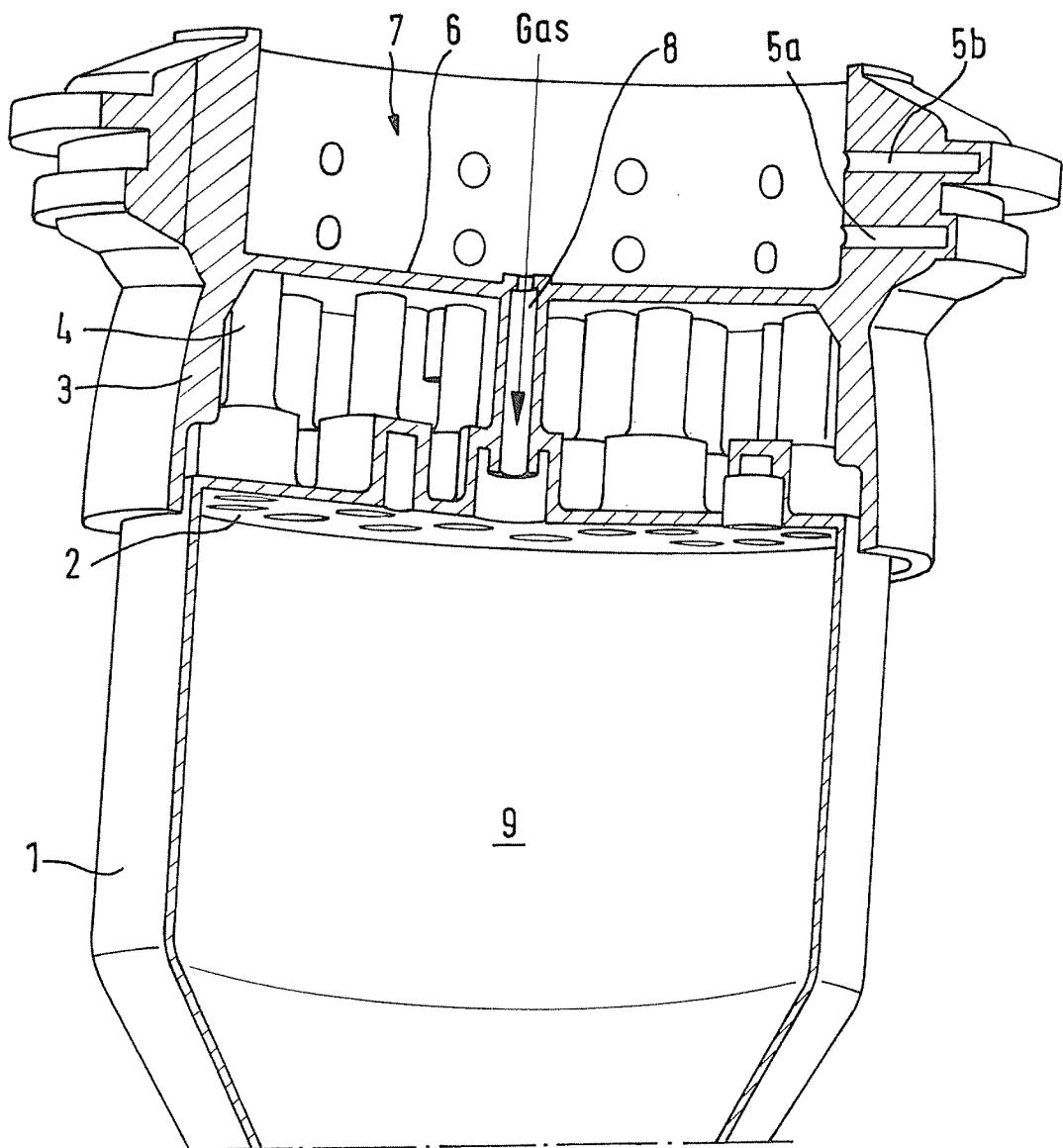


FIG. 3

4/4

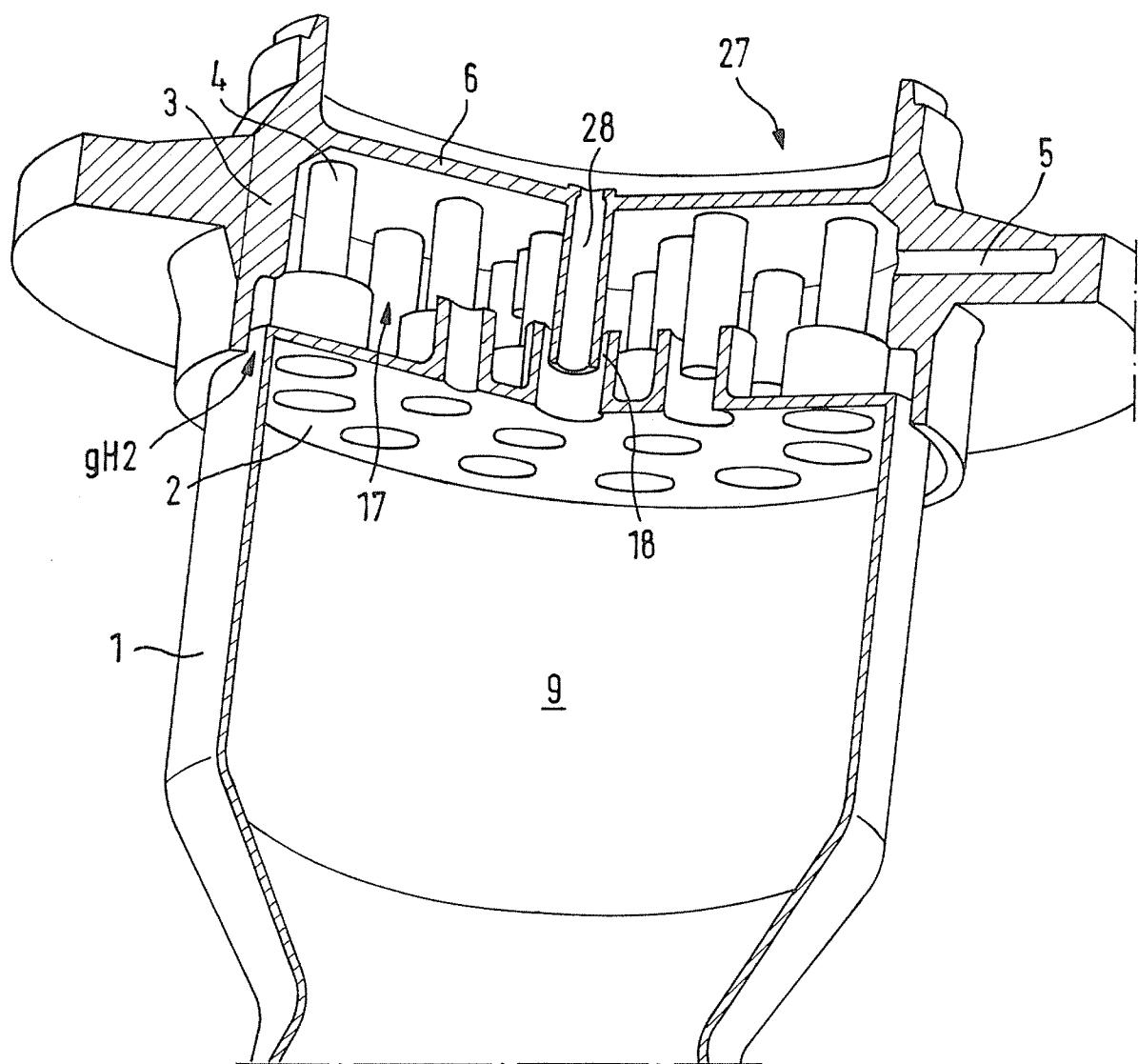


FIG. 4